

EFFECTOS FISIOLÓGICOS AGUDOS DE UN DISPOSITIVO PARA EJERCITARSE EN CASA

Johnny Montoya Arroyo, Jimena Ramírez Cambronero, Luis Fernando Aragón Vargas
Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano (CIMO HU)
Universidad de Costa Rica

Este informe de investigación es un PREPRINT que, dada su importancia en el contexto actual de la pandemia Covid-19, se deposita en el repositorio con el propósito de dar divulgación a los resultados antes de su publicación formal en una revista científica. Como *preprint*, su contenido no ha sido sometido a un riguroso proceso editorial que incluye revisión por pares. Oportunamente se incluirá la cita correspondiente a la versión final debidamente publicada.

Resumen. A la luz de la importancia de la actividad física regular como un elemento clave en la prevención de muchas enfermedades, se reportan a continuación los resultados del estudio realizado con un aparato para ejercitarse en la casa. 22 estudiantes universitarios jóvenes, aparentemente saludables, participaron en el estudio. Se midió el efecto agudo de 10 minutos de ejercicio con el dispositivo sobre la frecuencia cardíaca, el costo energético y la circulación periférica en las piernas. Se contrastan los resultados obtenidos con las afirmaciones que se hacen en distintas versiones de publicidad del aparato en cuestión. No se obtuvieron efectos fisiológicos agudos significativos de la utilización del dispositivo durante 10 minutos continuos: la frecuencia cardíaca aumentó apenas 7 latidos por minuto con respecto al reposo y la temperatura cutánea no varió o más bien disminuyó, sugiriendo una ausencia de vasodilatación. El costo energético fue estadísticamente mayor durante el ejercicio únicamente en las mujeres, que aumentaron solamente 7 kJ en 10 minutos. Estos resultados sugieren que aquellas personas que utilicen este dispositivo en sustitución de la actividad física regular están sacrificando beneficios importantes para su salud.

Actualmente existe un claro consenso entre los científicos del movimiento humano y las autoridades de salud pública, tanto a nivel nacional como internacional, sobre los efectos nocivos de la inactividad física y el sedentarismo (OMS, 2010). El problema es serio, pues por ejemplo, se estima que en Costa Rica alrededor de 50% de la población es físicamente inactiva (Ministerio de Salud & Ministerio de Deporte y Recreación, Costa Rica, 2011), a pesar de los esfuerzos de distintas entidades relacionadas con la salud pública.

Mientras tanto, la población está siendo bombardeada por publicidad engañosa que la induce, directa o indirectamente, a no asumir un estilo de vida físicamente activo. Junto a unas pocas ofertas que son sólidas y confiables, se anuncian máquinas, suplementos y accesorios que prometen maravillosos resultados, en muy poco tiempo y con muy poco



esfuerzo. Estas promesas rara vez se cumplen, lo cual podría causar un serio perjuicio sobre la salud de la población, que se ve defraudada y renuncia a la actividad física regular.

El conocimiento acumulado y los métodos de evaluación desarrollados por los profesionales en ciencias del movimiento humano permiten evaluar objetivamente las afirmaciones publicitarias que se hacen sobre distintas máquinas, suplementos y accesorios para moldear el cuerpo o perder peso (Swain, 2009). Dichas evaluaciones serían equivalentes a las que se realizan en farmacia para evaluar la efectividad de distintos medicamentos.

La evaluación de cualquier dispositivo para ejercitarse en la casa puede centrarse en los efectos que tiene su utilización regular (efectos crónicos o adaptaciones), o en los efectos agudos obtenidos (respuestas fisiológicas inmediatas). El estudio de los efectos crónicos es más atractivo, pues permite verificar si las personas realmente pierden peso, disminuyen su porcentaje de grasa corporal, o mejoran la masa muscular, la fuerza o el consumo máximo de oxígeno, entre otras variables de interés. Sin embargo, ética y científicamente no se justifica realizar una investigación experimental si no hay buenas razones para suponer que el tratamiento bajo estudio podría ser beneficioso. Antes de investigar los efectos crónicos, por lo tanto, tiene sentido estudiar detenidamente los efectos agudos, especialmente si la utilidad aparente de un dispositivo es cuestionable.

El dispositivo bajo estudio, vendido comercialmente como *Legxercise*® (Modelo LEGX-011, Legxercise, China; distribuido por Intellibrands LLC, Miami, FL, EE.UU.) es un aparato sencillo, con dos plataformas rectangulares para que el usuario coloque los pies mientras está cómodamente sentado. Un motor eléctrico mueve las plataformas horizontalmente, haciendo que los pies se muevan hacia adelante y atrás (desplazamiento total = 58 mm); la amplitud del movimiento articular es de 7° en las rodillas y de 10° en los tobillos. La cadencia del movimiento es de 24-25 ciclos por minuto en la velocidad baja y 26,5 a 27,5 ciclos por minuto en la velocidad alta (la frecuencia varía ligeramente según el peso de las piernas de la persona). Entre las afirmaciones que se hacen en la publicidad se presenta el movimiento pasivo de los pies como un ejercicio cardiovascular eficaz y saludable que promueve una circulación sanguínea adecuada, “mejora la circulación sin necesidad de un ejercicio agotador”, “convierte estar sentado en un ejercicio eficaz y saludable”, “ayuda a que la sangre corra hasta el corazón” (*Legxercise Tevecompras*, 2016).

Por lo tanto, el propósito de esta investigación fue poner a prueba el *Legxercise*® en un grupo de adultos jóvenes. Concretamente, se midió el efecto agudo sobre la frecuencia cardíaca, el costo energético y la circulación periférica en las piernas, durante 10 minutos de ejercicio con el dispositivo (a saber, el tiempo sugerido de uso en el manual de usuario).

Metodología

Se obtuvo consentimiento informado de 22 estudiantes (11 mujeres y 11 hombres) jóvenes, aparentemente saludables, conforme al procedimiento aprobado por el Comité de



Revisión Institucional de la Universidad de Costa Rica, documento VI-8797-2017. Los participantes se presentaron al laboratorio una única vez para completar todas las mediciones.

Procedimientos

Se registró la masa corporal (MC) de cada participante hasta los 50 gramos más cercanos y su estatura hasta el milímetro más cercano, utilizando un estadiómetro (Seca®, modelo 2861500009, Hamburgo, Alemania). También se estimó su porcentaje de grasa corporal mediante bioimpedancia (Seca® modelo 514, Hamburgo, Alemania). Así mismo a cada participante se le colocó un monitor de frecuencia cardíaca Polar®, modelo FT7 (Kempele, Finlandia). El consumo de oxígeno se registró con un carro metabólico Jeager MasterScreen CPX (CareFusion Corporation, San Diego, California) (CARMET), con el fin de obtener el gasto calórico de forma indirecta. Se midió la temperatura cutánea del tren inferior por medio de una cámara Termográfica (Flir, modelo: 650sc, Wilsonville-Oregón).

A cada participante se le realizó una medición y registro de VO_2 según CARMET, en estado de reposo en posición decúbito supino durante 10 minutos. Luego se colocó sentado en una silla frente a la máquina para ejercicio LegXercise colocando los pies sin zapatos sobre el dispositivo, conforme a las instrucciones del fabricante. El aparato se encendió y se ajustó a la velocidad máxima (26.5 ciclos de movimiento por minuto); cada participante lo utilizó durante 10 minutos. El gasto energético aproximado según VO_2 se registró durante el tiempo que utilizó el dispositivo al igual que en el estado de reposo, así como también se realizó la termografía del tren inferior durante el periodo que se utilizó la máquina (EJER). Del monitor de frecuencia cardíaca se registró la frecuencia cardíaca promedio de los diez minutos, para reposo y para EJER. Del CARMET, se utilizó el consumo de oxígeno promedio obtenido en condición de reposo para cada participante, en $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, como 1 MET; el valor obtenido en EJER se registró como múltiplos del consumo de oxígeno de cada participante en reposo o múltiplos del índice metabólico en reposo, MET (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2008). Para obtener el gasto calórico bruto durante el ejercicio por calorimetría indirecta, se utilizó la siguiente fórmula:

$$(MET) * (3,5 \text{ mL O}_2 * kg^{-1} \cdot min^{-1}) * MC * (4,8 \text{ kcal}/1000 \text{ mL O}_2)$$

El gasto calórico neto se obtuvo con la misma fórmula, pero restando 1 MET a cada valor.

Para la termografía del tren inferior se registró en forma continua específicamente en las siguientes zonas anatómicas: vasto lateral (Z1, en la porción muscular más próxima a la inserción), tibial anterior (Z2, en la porción muscular más próxima al origen) y el gastrocnemio lateral (Z3, en la porción muscular más próxima al origen), de la pierna izquierda de cada participante. Del video, se obtuvo la temperatura cutánea en cada una de las tres zonas anatómicas mencionadas, en el minuto 0, minuto 2:30, minuto 5, minuto 7:30 y minuto 10 de ejercicio, todos ± 2 segundos en el tiempo de medición, esto porque la medida se tomaba con un cursor predefinido y con la pierna siempre en la misma posición.



Análisis estadístico

Se calculó la estadística descriptiva (media \pm D.E.) de las características generales, para caracterizar la muestra. Además, se comparó a los hombres y las mujeres con pruebas t de Student. Para verificar la normalidad de los datos, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov en cada una de las variables dependientes.

Para el análisis de los efectos fisiológicos, se realizaron ANOVAs de dos vías de medidas repetidas (sexo X condición) con la frecuencia cardíaca y el gasto energético como variables dependientes. Además, con la temperatura superficial localizada como variable dependiente, se realizó un ANOVA de dos vías de medidas repetidas (sexo X tiempo de medición) para cada una de las tres zonas anatómicas, aplicando la corrección según Greenhouse-Geisser cuando la prueba de esfericidad de Mauchly dio significativa.

Resultados:

Un total de 22 estudiantes universitarios (11 M y 11 F), aparentemente saludables, participaron en el estudio. Edad: $19,5 \pm 1,4$ años. Estatura: $1,667 \pm 0,073$ m. Peso: $63,7 \pm 10,4$ kg. Grasa corporal: $24,5 \pm 9,0\%$. FC reposo: $74,8 \pm 10,5$ latidos por minuto. Según la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, solamente dos variables, la frecuencia cardíaca en reposo y el gasto energético en reposo, mostraron desviación de la normalidad ($p < 0.001$ y $p = 0.038$, respectivamente). En la tabla 1 se desglosan las características básicas de los participantes, divididos entre hombres y mujeres.

Tabla 1. Descripción de los participantes, n = 22.

	Mujeres (n=11)	Hombres (n=11)
	Media \pm D.E.	Media \pm D. E.
Edad (años cumplidos)*	$20,1 \pm 1,5$	$19,0 \pm 1,0$
Estatura (m)*	$1,630 \pm 0,081$	$1,702 \pm 0,040$
Peso (kg)	$61,01 \pm 10,81$	$66,49 \pm 9,73$
Grasa corporal (%)*	$31,4 \pm 5,2$	$17,7 \pm 6,3$
Frecuencia cardíaca en reposo (lat \cdot min ⁻¹)	$73,8 \pm 10,4$	$75,8 \pm 11,0$

(*) Diferencia entre hombres y mujeres, $p < 0,05$.

La figura 1 muestra que la frecuencia cardíaca en reposo ($74,8 \pm 10,5$ lat \cdot min⁻¹) fue significativamente menor que en ejercicio ($82,9 \pm 10,4$ lat \cdot min⁻¹) ($p = 0,016$). No hubo diferencia entre hombres y mujeres ($p=0,855$) ni tampoco hubo una interacción significativa entre condición y sexo ($p=0,423$).

En la figura 2 se muestra la comparación del gasto energético bruto en reposo y en ejercicio. La interacción entre sexo y condición fue significativa ($p=0,046$): las mujeres aumentaron significativamente su gasto energético de la condición de reposo ($38,30 \pm 5,51$ kJ) a la de ejercicio ($45,38 \pm 8,43$ kJ), pero los hombres no; el efecto principal de



la condición no fue significativo ($p=0,339$). Como efecto principal, los hombres tuvieron un mayor gasto energético en diez minutos que las mujeres ($48,65\pm 8,24$ vs. $41,84\pm 7,84$ kJ, $p=0,006$). La intensidad real del ejercicio en MET fue igual para las mujeres y los hombres ($1,06\pm 0,12$ MET vs. $1,01\pm 0,08$ MET, respectivamente, $p = 0,14$). Finalmente, no hubo diferencia estadísticamente significativa entre el gasto energético neto en diez minutos de ejercicio de las mujeres ($2,47\pm 4,66$ kJ) y de los hombres ($0,62\pm 3,58$ kJ) ($p=0,15$).

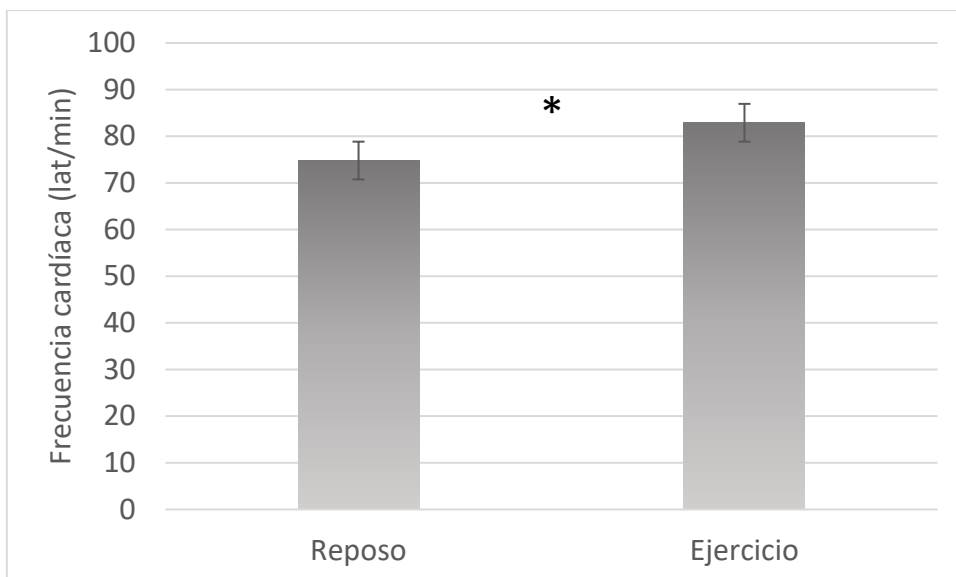


Figura 1. Comparación de la frecuencia cardíaca del grupo completo ($n=22$). (*) $p < 0,01$.

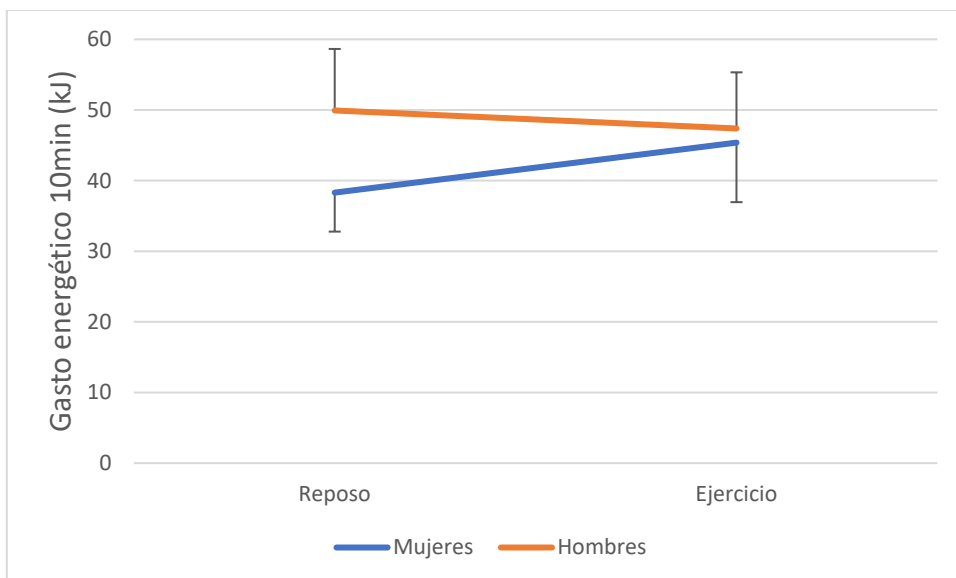


Figura 2. Comparación del gasto energético ($n=22$). Interacción entre sexo y condición $F=4,236$, $p=0,046$. Efecto principal de sexo $F=8,491$, $p=0,006$. Efecto principal de condición $F=0,938$, $p=0,339$.

La figura 3 muestra la temperatura cutánea localizada para cada una de las tres zonas anatómicas a lo largo del tiempo, para las mujeres y los hombres. La interacción entre sexo y tiempo de medición no fue significativa para ninguna de las tres zonas ($p > 0,218$). El efecto principal del tiempo de medición sí fue significativo para las zonas 2 y 3 ($p < 0,001$). El efecto principal del sexo sí fue significativo, con promedios mayores para los varones en las tres zonas anatómicas: en el vasto lateral, $31,32 \pm 1,16$ vs. $29,68 \pm 0,85^{\circ}\text{C}$ ($p = 0,001$); en el tibial anterior, $31,68 \pm 0,83$ vs. $30,35 \pm 0,78^{\circ}\text{C}$ ($p = 0,001$); en el gastrocnemio lateral, $31,18 \pm 1,35$ vs. $29,98 \pm 0,73^{\circ}\text{C}$ ($p = 0,015$), para hombres vs. mujeres, respectivamente.



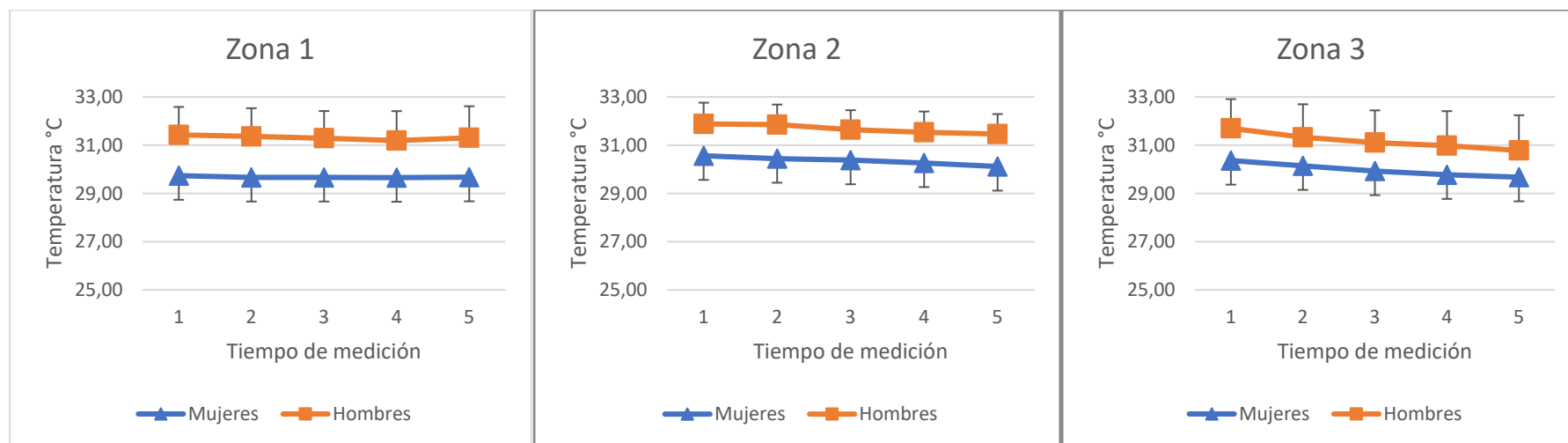


Figura 3. Comparación de la temperatura superficial localizada en las tres regiones, n=22. Fig 3a, zona 1, vasto lateral: interacción $F = 0,706$, $p = 0,513$; tiempo de medición $F = 2,216$, $p = 0,116$; sexo $F = 13,624$, $p = 0,001$. Fig 3b, zona 2, tibial anterior: interacción $F = 0,837$, $p = 0,432$; tiempo de medición $F = 29,895$, $p < 0,001$; sexo $F = 14,713$, $p = 0,001$. Fig 3c, zona 3, gastrocnemio lateral: interacción $F = 0,646$, $p = 0,498$; tiempo de medición $F = 37,326$, $p < 0,001$; sexo $F = 7,020$, $p = 0,015$.



Discusión

El principal resultado de este estudio es que no se obtuvieron efectos fisiológicos agudos significativos de la utilización del *Legxercise®* durante 10 minutos continuos: la frecuencia cardíaca aumentó apenas 7 latidos por minuto con respecto al reposo y la temperatura cutánea no varió o más bien disminuyó. El costo energético fue estadísticamente mayor durante el ejercicio únicamente en las mujeres, que aumentaron en 7 kJ en 10 minutos. A manera de referencia, eso representaría 42 kJ o 10 kilocalorías en una hora, apenas ligeramente más de la mitad del gasto energético neto que tendría una persona de 50 kg de peso quieta de pie, sentada, o descansando acostada sin hacer nada, según los códigos 07040, 07021, o 07011 de actividad física, respectivamente (Ainsworth et al., 2011).

La temperatura cutánea tuvo un comportamiento consistente en las tres zonas evaluadas (Figura 3): en una zona se mantuvo constante y cuando hubo variación estadísticamente significativa a lo largo del tiempo, esta fue una disminución, contrariamente a lo esperado como consecuencia del ejercicio. Las cámaras termográficas se han utilizado exitosamente para medir circulación periférica (Bagavathiappan et al., 2009; Carpes et al., 2018; Cholewka et al., 2017; Stathopoulos et al., 2015), pero es posible que la temperatura cutánea localizada no sea lo suficientemente sensible a variaciones agudas en la circulación periférica consecuentes a un ejercicio liviano. Para estar seguros de su sensibilidad, hicimos una prueba independiente en la cual un varón adulto realizó extensiones de rodilla en una máquina Cybex® modelo VR1-*Leg extensión/Leg curl* (Cybex International, Medway, MA, EE.UU.) con el mínimo peso disponible (11,36 kg) durante 10 minutos continuos, pero con pausas de 1 segundo después de cada repetición. La temperatura en el vasto lateral fue de 30,9°C al iniciar, y aumentó a 31,4°C a los 2:30 min, 31,5°C a los 5:00 min, 32°C a los 7:30 min y 31,9°C a los 10 minutos de ejercicio.

En las tres zonas anatómicas evaluadas, las mujeres tuvieron temperaturas cutáneas aproximadamente 1°C más bajas que los hombres (Figura 3). La diferencia no solamente se presenta durante la utilización del equipo, sino también antes de iniciar (tiempo 0 minutos). Es posible suponer que eso se debe al efecto aislante de la grasa subcutánea que favorecería la conservación del calor corporal, ya que la temperatura ambiental en el laboratorio durante las mediciones fue de 26,4°C \pm 0,8°C (con una humedad relativa de 66%, ligeramente por encima de la recomendada para obtener buenos registros) (Carpes et al., 2018). Esa temperatura ambiental estuvo claramente por debajo de la temperatura corporal normal. Las mujeres en nuestra muestra tuvieron un porcentaje de grasa significativamente mayor al de los hombres (Tabla 1), lo cual sugiere mayor grasa subcutánea.

A la luz de los efectos agudos insignificantes, no se recomienda realizar un experimento para evaluar el efecto crónico de la utilización de este dispositivo para ejercicio en casa. Además, los resultados sugieren que aquellas personas que utilicen este dispositivo en sustitución de la actividad física regular, como la caminata, están sacrificando beneficios importantes para su salud.



Reconocimientos. Se agradece a todos los participantes por su disposición a colaborar con este estudio, así como al Sr. Rodrigo Cordero Tencio por su asistencia técnica. La investigación fue financiada por el proyecto VI-838-B6-766 de la Universidad de Costa Rica.

Bibliografía

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-glover, M. C., & Leon, A. S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and Met Values. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(8), 1575-1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12>
- Bagavathiappan, S., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T., Raj, B., Karunanithi, R., Panicker, T. M. R., Korath, M. P., & Jagadeesan, K. (2009). Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders. *Journal of Medical Physics / Association of Medical Physicists of India*, 34(1), 43-47. <https://doi.org/10.4103/0971-6203.48720>
- Carpes, F. P., Mello-Carpes, P. B., Priego Quesada, J. I., Pérez-Soriano, P., Salvador Palmer, R., & Cibrian Ortiz de Anda, R. M. (2018). Insights on the use of thermography in human physiology practical classes. *Adv Physiol Educ*, 42, 521-525. <https://doi.org/doi:10.1152/advan.00118.2018>
- Cholewka, A., Kajewska, J., Marek, K., Sieroń-Stołtny, K., & Stanek, A. (2017). How to use thermal imaging in venous insufficiency? *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 130(3), 1317-1326. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6141-7>
- Legxercise Tevecompras. (2016). [Video YouTube]. Descargado el 24 de marzo de 2020 de <https://www.youtube.com/watch?v=ME49Aw0yosk>
- Ministerio de Salud, & Ministerio de Deporte y Recreación, Costa Rica. (2011). *Plan Nacional de Actividad Física y Salud 2011-2021*. Descargado el 3 de marzo de 2020 de <https://goo.gl/NEqhK6>
- OMS, O. M. de la S. (2010). *Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud*. <http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/9789241599979/es/>
- Physical Activity Guidelines Advisory Committee. (2008). *Advisory Report | health.gov*. Descargado el 3 de marzo de 2020 de <https://health.gov/our-work/physical-activity/previous-guidelines/2008-physical-activity-guidelines/advisory-report>
- Stathopoulos, I., Skouroliahou, K., Michail, C., & Valais, I. (2015). Dynamic Infrared Thermography Study of Blood Flow Relative to Lower Limb Position. *Journal of Physics Conference Series*, 637(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/637/1/012027>
- Swain, D. P. (2009). EXERCISE EQUIPMENT: Assessing the Advertised Claims. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 13(5), 8-11. <https://doi.org/10.1249/FIT.0b013e3181b47bdc>

